

(11)Publication number : 2002-257629

(43)Date of publication of application : 11.09.2002

(51)Int.Cl.

G01J 3/28
G01J 11/00
G01N 21/35
G01R 29/08

(21)Application number : 2001-051715

(71)Applicant : COMMUNICATION RESEARCH LABORATORY

(22)Date of filing : 27.02.2001

(72)Inventor : KONO SHUNSUKE
TANI MASAHIKO
SAKAI KIYOMI

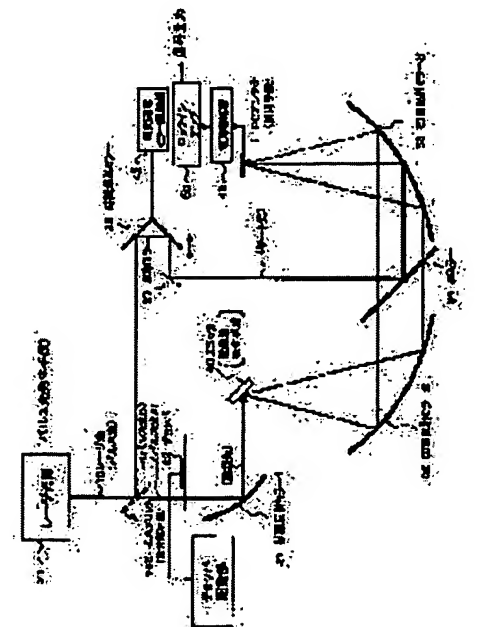
(54) DETECTING APPARATUS AND METHOD FOR ELECTROMAGNETIC WAVE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a detecting apparatus and a method for electromagnetic wave by which tera-hertz electromagnetic frequency spectrum and waveform can be accurately measured.

SOLUTION: The detecting apparatus for of the electromagnetic wave includes a pulse light generating means and a means to detect the electromagnetic wave through radiation of the electromagnetic wave and radiation of the pulse light wherein the pulse light is emitted to detect the electromagnetic wave, and the pulse light and the electromagnetic wave to be detected are radiated from the same side with regard to the detecting means.

本発明の実施の形態の構成図
(同軸配線)



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 27.02.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3477496

[Date of registration] 03.10.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-257629

(P2002-257629A)

(43) 公開日 平成14年9月11日 (2002.9.11)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード [*] (参考)
G 0 1 J 3/28		G 0 1 J 3/28	2 G 0 2 0
	11/00		2 G 0 5 9
G 0 1 N 21/35		G 0 1 N 21/35	Z 2 G 0 6 5
G 0 1 R 29/08		G 0 1 R 29/08	F

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2001-51715(P2001-51715)

(22) 出願日 平成13年2月27日 (2001.2.27)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成12年9月3日～7日 社団法人応用物理学会開催の「2000年(平成12年)秋季 第61回応用物理学会学術講演会」において文書をもって発表

(71) 出願人 301022471

独立行政法人通信総合研究所
東京都小金井市貫井北町4-2-1

(72) 発明者 河野 俊介

兵庫県神戸市西区岩岡町岩岡588-2 総務省通信総合研究所 関西先端研究センター内

(72) 発明者 谷 正彦

兵庫県神戸市西区岩岡町岩岡588-2 総務省通信総合研究所 関西先端研究センター内

(74) 代理人 100097836

弁理士 福井 國敏 (外2名)

最終頁に続く

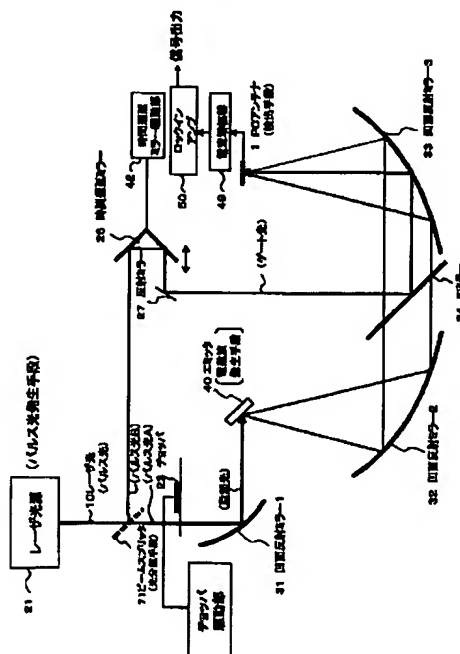
(54) 【発明の名称】 電磁波検出装置および検出方法

(57) 【要約】

【課題】 本発明は電磁波検出装置と検出方法に関し、テラヘルツ電磁の周波数スペクトル、波形を正確に測定することを目的とする。

【解決手段】 パルス光発生手段と、電磁波の照射と該パルス光の照射により該電磁波を検出する検出手段を備え、該パルス光を照射して電磁波を検出する電磁波検出装置において、該パルス光と検出対象の電磁波を検出手段に対して同じ側から照射する構成をもつ。

本発明の実施の形態の装置構成1
(同軸配置)



【特許請求の範囲】

【請求項1】 パルス光発生手段と、電磁波の照射と該パルス光の照射により該電磁波を検出する検出手段を備え、該パルス光を照射して電磁波を検出する電磁波検出装置において、該パルス光と検出対象の電磁波を検出手段に対して同じ側から照射することを特徴とする電磁波検出装置。

【請求項2】 該検出手段は光を照射されることによりキャリアを発生する光伝導性材料に配置された一組の対向電極を備えたものであり、該検出手段は、該対向電極間に該パルス光をゲート光として照射されて該光伝導性材料に発生したキャリアと該電磁波が作用して該電磁波に基づく信号を出力するものであることを特徴とする請求項1に記載の電磁波検出装置。

【請求項3】 該パルス光発生手段で発生したパルス光を分離してパルス光Aとパルス光Bを生成する光分離手段を備え、該パルス光Aと該パルス光Bは相関性のあるものであり、該パルス光Aを照射されて電磁波を発生する電磁波発生手段を備え、該パルス光Aを該電磁波発生手段に照射して該電磁波を発生し、該パルス光Bをゲート光として該検出手段に照射するものであることを特徴とする請求項2に記載の電磁波検出装置。

【請求項4】 該電磁波は100GHz以上の周波数領域の電磁波であり、該パルス光発生手段が時間幅が該電磁波の周期より短いパルスレーザ光を発生するものであることを特徴とする請求項1、2もしくは3に記載の電磁波検出装置。

【請求項5】 パルス光発生手段と、電磁波の照射とパルス光の照射により該電磁波を検出する検出手段を備え、パルス光を照射して電磁波を検出する電磁波検出方法において、該パルス光と検出対象の電磁波を検出手段に対して同じ側から照射することを特徴とする電磁波検出方法。

【請求項6】 該検出手段は光照射によりキャリアを発生する光伝導性材料に配置された一組の対向電極を備えたものであり、パルス光発生手段と、入射光を分離して出射する光分離手段とを備え、該パルス光発生手段で発生したパルス光を該光分離手段により分離して互いに相関性のあるパルス光Aとパルス光Bを生成し、該パルス光Aを該電磁波発生手段に照射して該電磁波を発生し、該パルス光Bを該検出手段の対向電極間にゲート光として照射し、該検出手段において該パルス光Bの照射により該光伝導性材料に発生したキャリアと該電磁波が作用して該電磁波に基づく信号を出力することを特徴とする請求項5に記載の電磁波検出方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は電磁波検出装置と検出方法であって、主に100GHz以上から10THz (1THz = 10^{12} Hz) 領域程度までの電磁波を検

出する装置と方法に関するものである。100GHzから10THz程度までの電磁波は、電波と光領域の間に位置し、通常テラヘルツ電磁波と言われている。

【0002】 テラヘルツ電磁波はInP等の化合物半導体に、例えばレーザパルス光を照射することにより発生させることができる。そのようにして発生したテラヘルツ電磁波は、検出器(PCアンテナ(Photoc conductive antenna))にテラヘルツ電磁波を照射し、コヒーレンスのある時間幅の短いパルス光、例えば、超短パルスレーザ光をゲート光として照射することにより常温で測定できる。そのため、テラヘルツ電磁波はテラヘルツ分光として試料の分光分析に応用されている。

【0003】

【従来の技術】 図8はPCアンテナによるテラヘルツ電磁波の発生方法と検出方法の説明図である。図8(a)は、PCアンテナによるテラヘルツ電磁波の発生方法の説明図である。図8(b)は、PCアンテナによるテラヘルツ電磁波の検出方法の説明図である。

【0004】 図8(a)において、1はPCアンテナである。PCアンテナは、例えばSi-GaAs(半絶縁性GaAs)の基板上に設けたLT-GaAs(低温成長GaAs)の上に電極(伝送路、ダイポールアンテナを含む)を配設したものである。2、2'は伝送路である。3、3'はダイポールアンテナである。4は直流バイアス電源であり、ダイポールアンテナ3、3'に直流バイアスを与えるものである。10はレーザ光であり、ダイポールアンテナ3、3'のギャップ部分にゲート光として照射されるものである。11はテラヘルツ電磁波であり、ダイポールアンテナ3、3'から放射されるものである。

【0005】 図8(a)に示すように、伝送路2、2'に直流バイアスを印加した状態で、レーザ光10の極短パルスレーザをPCアンテナのダイポールアンテナ3、3'のギャップ部分にゲート光として照射することにより、ごく短い時間キャリアを発生させる。この時、ごく短い時間ダイポールアンテナ3と3'の間に電流が流れ、テラヘルツ電磁波11を含む電磁波が発生する。

【0006】 次に図8(b)を参照して、PCアンテナによりテラヘルツ電磁波を検出する原理を説明する。図8(b)において、図8(a)と共通参照番号は共通部分を示す。図8(b)に示すように、PCアンテナ1のダイポールアンテナ3、3'のギャップ部分にレーザ光10(例えば波長800nm)の極短パルスレーザ(時間の半値幅約15fs(1fs = 10^{-15} 秒)、繰り返し周期75MHz)をゲート光として照射する。この時、テラヘルツ電磁波11が基板に照射されていると、ゲート光によりダイポールアンテナ3、3'のギャップ部分に発生したキャリアはテラヘルツ電磁波11により変調されて、伝送路2、2'の電流信号として現れる。

従って、伝送路2、2'を流れる電流を測定することにより照射したテラヘルツ電磁波を測定することができ

る。
【0007】図9は従来のテラヘルツ電磁波の検出装置の構成を示し、対向配置による装置構成である。対向配置はゲート光と検出対象の電磁波をPCアンテナの異なる面から照射する配置を意味する。図9の場合、ゲート光は、PCアンテナ1のダイポールアンテナ側から照射され、検出対象の電磁波はPCアンテナの電極（伝送路、ダイポールアンテナ等）のない側から照射されてい

る。このような配置のしかたを以下、対向配置と称する。
【0008】図9において、1はPCアンテナである。10はレーザ光（パルス光）である。11はテラヘルツ電磁波である。21はレーザ光源であって、例えば、波長800nm、パルス幅12fs、繰り返し周期75MHzの極短レーザパルス光を発生するものである。23はチョップであり、ビームスプリッタ71でレーザ光10から分離されたパルス光Aをチョップするものである。26は時間遅延ミラーであり、入射光の光軸方向に移動してレーザ光の光路長を変化させるものである。31は凹面反射ミラー1、32凹面反射ミラー2、33は凹面反射ミラー3である（本明細書で説明する凹面反射ミラーは、凹面反射ミラー74を除いて、正確には軸をはずした放物面ミラーである。以下、全て凹面反射ミラーとして説明する）。

【0009】40はエミッタであって、InP、ZnTe、GaP等の材料によるものであり、励起光（パルス光A）を照射してテラヘルツ電磁波を発生するものである（図8（a）のテラヘルツ電磁波の発生方法とは発生原理が異なる）。49は電流増幅器であり、ロックインアンプの前段増幅器である。50はロックインアンプである。71はビームスプリッタである。72は反射ミラーである。73、74は凹面反射ミラーである。75は凸面反射ミラーである。76はSiレンズである。凸面反射ミラー75で反射したレーザ光は凹面反射ミラー73、74でPCアンテナ1のギャップ部分に焦点が合うように反射される。

【0010】PCアンテナ1自体は、本発明のものと同一のものであるので、図1を参照して説明する。図1（a）、（b）、（c）に示すように、厚さ0.4mmのSi-GaAs（半絶縁性GaAs）上に厚さ1.5μmのLT-GaAs（低温成長GaAs）を設け、その上に電極（伝送路2、2'、ダイポールアンテナ3、3'）を配設したものである。対向するダイポールアンテナ3、3'の距離d=5μm、伝送路2、2'の間隔L=30μmである。図9に示すように、従来のテラヘルツ電磁波検出装置ではPCアンテナ1はSiレンズ76上に配置していた。

【0011】図9の従来の電磁波検出装置の動作を説明

する。レーザ光源21は極短パルスレーザ光を発生する。レーザ光源21で発生したレーザ光10はビームスプリッタ71でパルス光Aとパルス光Bに分離される。パルス光Aとパルス光Bは相関性があり、コヒーレントな性質をもつ。パルス光Aはチョップ23でチョップされ、凹面反射ミラー1（31）に入射され、エミッタ40の励起光になる。凹面反射ミラー1（31）で反射したパルス光Aは、エミッタ40を照射する。エミッタ40はパルス光Aの照射を受けてテラヘルツ電磁波11を発生する。エミッタ40で発生したテラヘルツ電磁波は凹面反射ミラー2（32）で反射し、さらに凹面反射ミラー3（33）で反射して、Siレンズ76に入射される。Siレンズ76に入射したテラヘルツ電磁波11はダイポールアンテナ3、3'のギャップ部分に焦点が合わされてギャップを照射する。

【0012】一方、ビームスプリッタ71でレーザ光10から分離したパルス光Bは時間遅延ミラー26に入射されて反射する。時間遅延ミラー26を出たレーザ光10はさらに反射ミラー72、凸面反射ミラー75、凹面反射ミラー73、74で反射し、PCアンテナ1のダイポールアンテナのギャップ部分を照射する。

【0013】ギャップに照射されたパルス光B（波長800nm、半値幅15fs）は、ゲート光としてPCアンテナ1の高光伝導性のLT-GaAs層にキャリアを励起する（実験に使用したもののキャリア寿命は約1.4psであったが、一般的に使用されているキャリア寿命1ps以下のLT-GaAsでも良い）。そしてギャップ部分を照射するテラヘルツ電磁波の電界により変調されて、伝送路2、2'に信号電流が流れる。その信号電流は、テラヘルツ電磁波の電界の振幅 $E_{THz}(t)$ とPCアンテナ中に励起されたキャリア密度 $n(t)$ のコンボリューションで定められる。

【0014】

【数1】

$$I(\tau) \propto \int_{-\infty}^{\infty} E_{THz}(t) n(t-\tau) dt$$

【0015】ここで、 μ はキャリアの移動度、 τ はテラヘルツ電磁波11に対するゲート光の遅延時間である。テラヘルツ電磁波の振動周期がキャリア寿命（ τ_c ）に比べて十分に長いときは、 $n(t)$ はデルタ関数的になり、PCアンテナはサンプリング検出器として働き、信号波形は、テラヘルツ電磁波の時間波形に比例したものになる（ $I(\tau) \propto E_{THz}(\tau)$ ）。また、テラヘルツ電磁波の振動周期がキャリア寿命（ τ_c ）に比べて十分に短いときは、 $n(t)$ はステップ関数とみなすことができ、信号波形はテラヘルツ電磁波の積分波形に比例したものになる。

【0016】図10はテラヘルツ電磁波の検出方法の説明図である。図10（a）はキャリア寿命（ τ_c ）がテ

ラヘルツ電磁波の時間幅 (Δt (例えば、1 周期の時間)) より小さい場合である。

【0017】図 10 (a) のように、テラヘルツ電磁波の時間幅 Δt がキャリア寿命 τ_c より大きい場合には、レーザ光はサンプリング光として働き、信号電流 I

(t) をサンプリングする (サンプリングモード)。また、図 10 (b) のように、テラヘルツ電磁波の時間幅 Δt がキャリア寿命 τ_c より小さい場合には、キャリアが積分されて信号電流として取り出される (積分モード)。積分モードの場合にも、キャリアの発生の立ち上がり時間が短いことは、より高い周波数を検出できることになり、検出周波数帯域が広がるので、ゲート光のパルス幅は短いほうが良い。

【0018】PC アンテナの信号電流は微弱なので、信号電流はロックインアンプで測定する。図 9 において、チョッパ 23 によりレーザ光 10 を 2 kHz でチョップし、パルス光 A を 2 kHz で変調する。ロックインアンプ 50 の参照信号の周波数を 2 kHz にして、信号電流をロックインアンプ 50 で検出する。時間遅延ミラー 26 を移動することによりゲート光に光路差を発生させ、遅延時間 τ についての掃引信号を発生させ、信号電流の時間変化をロックインアンプ 50 により測定する。PC アンテナ 1 の光伝導層が LT-GaAs のようにキャリア寿命の短いものでも、検出対象の電磁波の周波数が高い場合 (例えば、10 THz 以上) である場合には、図 10 (b) に示す積分モードの信号電流が検出される。

【0019】図 11 (a) は従来の検出装置による検出波形の例である。図 11 (a) はテラヘルツ電磁波の時間変化波形の例であって、図 9 の電磁波検出装置により測定したものである。

【0020】図 11 (a) において、横軸は時間 ($p s$ ($1 p s = 10^{-12}$ 秒)) であり、縦軸は振幅 (任意単位) である。図 11 (b) は時間変化波形をフーリエ変換したものである。横軸は周波数 (THz) であり、縦軸は振幅 (任意単位) である。

【0021】図 11 (b) の周波数スペクトルに示されるように、数テラヘルツから 30 テラヘルツまでのテラヘルツ電磁波が検出された。図 11 (b) において、7 ~ 8 THz 付近のギャップは PC アンテナの基板 (Si-GaAs (0.4 mm) と LT-GaAs (1.5 μm)) により吸収によるものである。また、16 THz と 18 THz 付近の吸収は Si レンズによる吸収によるものである。

【0022】なお、図 9 の電磁波検出装置をテラヘルツ電磁波分光に使用する場合には、凹面反射ミラー 2 (32) と凹面反射ミラー 3 (33) との間に試料を置く。そして、試料を透過するテラヘルツ電磁波 11 により PC アンテナ 1 で測定されるテラヘルツ電磁波の波形および周波数スペクトルと試料がない場合のテラヘルツ電磁波の波形および周波数スペクトルを比較する。両者の周

波数スペクトルを比較することにより THz 帯の広い範囲にわたる透過または吸収スペクトルを得ることができ、試料を分光分析できる。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】従来の電磁波検出装置によれば、テラヘルツ電磁波は Si レンズを介して PC アンテナの基板の裏面から PC アンテナのギャップ部分を照射していたので、PC アンテナの基板 (Si-GaAs (0.4 mm)、光伝導層 (LT-GaAs (1.5 μm)) と Si レンズ部分によるテラヘルツ電磁波の吸収の影響を受け、エミッタで発生したテラヘルツ電磁波の全周波数について正確な測定ができなかった。また、基板、光伝導層、Si レンズによるテラヘルツ電磁波の分散のため正確な時間波形を測定することができなかった。また、PC アンテナをテラヘルツ電磁波分光に应用する場合には、PC アンテナによる吸収スペクトルと同じ領域に試料の吸収スペクトルがあると正しい分光分析結果を得ることができなかった。また、従来の電磁波検出装置でテラヘルツ電磁波を検出する場合には、PC アンテナの基板に Si レンズを必要とした。

【0024】本発明は、PC アンテナに照射されるテラヘルツ電磁の周波数スペクトル、波形を基板の吸収の影響を排してより正確に測定でき、PC アンテナの保持手段について制約を受けない電磁波検出装置および電磁波検出方法を提供することを目的とする。

【0025】

【課題を解決するための手段】本発明は、パルス光発生手段と、電磁波の照射と該パルス光の照射により該電磁波を検出する検出手段を備え、該パルス光を照射して電磁波を検出する電磁波検出装置において、該パルス光と検出対象の電磁波を検出手段に対して同じ側から照射するようにした。

【0026】また、本発明は、パルス光発生手段と、電磁波の照射とパルス光の照射により該電磁波を検出する検出手段を備え、パルス光を照射して電磁波を検出する電磁波検出方法において、該パルス光と検出対象の電磁波を検出手段に対して同じ側から照射するようにした。

【0027】

【発明の実施の形態】図 1 は本発明の実施の形態を示す。図 1 (a) は、同軸配置によりテラヘルツ電磁波を検出する原理的な説明図であり、同軸配置は、図 1 (a) のように PC アンテナの電極側 (伝送路、ダイポールアンテナのある側) からレーザ光とテラヘルツ電磁波を照射する構成を意味する。図 1 (b) は PC アンテナの断面図である。図 1 (c) は PC アンテナの平面図を示す。

【0028】図 1 (a) において、1 は PC アンテナ (検出手段) である。2、2' は伝送路であり、光伝導層 4 の上に設けられたものである。伝送路 2 と 2' の間隔は、例えば、30 μm である。3、3' はダイポール

アンテナであって一組の対向電極より構成され、伝送路 2, 2' と一体である。ダイポールアンテナ 3 と 3' のギャップ部分の間隔は、例えば $5\ \mu\text{m}$ である。10 はレーザー光であって、パルス光である。11 はテラヘルツ電磁波である。

【0029】図 1 (b) は PC アンテナ 1 の断面図を示す。図 1 (b) において、4 は光伝導層であり、LT-GaAs (厚さ $1.5\ \mu\text{m}$) であり、低温成長させた高導電率の GaAs である。4' は基板であり、厚さ $0.4\ \text{mm}$ の Si-GaAs (半絶縁性の GaAs) である。6 は電極層であって、Au の電極であり、伝送路 2, 2', ダイポールアンテナ 3, 3' を構成するものである。

【0030】図 1 (c) において、2, 2' は伝送路である。3, 3' はダイポールアンテナである。ギャップの幅 d は $5\ \mu\text{m}$ である。伝送路 2, 2' の幅 L は $30\ \mu\text{m}$ である。7 は電流計であり、伝送路 2, 2' に流れる信号電流を測定するものである (実際には電流増幅器を経由してロックインアンプが接続される)。

【0031】図 2 は本発明の実施の形態の装置構成 1 を示すものである。図 2 は、光伝導層にキャリアを励起するレーザー光とテラヘルツ電磁波を PC アンテナの同じ側 (電極側) から照射する同軸配置の構成である。

【0032】図 2 において、1 は PC アンテナ (検出手段) である。10 はレーザー光であり、パルス光である。21 はレーザー光源である (パルス光発生手段)。23 はチョッパであり、パルス光 A をチョップするものである。26 は時間遅延ミラーであり、入射光の光軸方向に移動してパルス光 B の光路長を変化させるものである。31 は凹面反射ミラー 1, 32 凹面反射ミラー 2, 33 は凹面反射ミラー 3 である。40 はエミッタであって、InP, ZnTe, GaP 等の材料によるものであり、レーザー光を照射してテラヘルツ電磁波を発生するものである (図 8 (a) のテラヘルツ電磁波の発生方法とは発生原理が異なる)。49 は電流増幅器であり、ロックインアンプの前段増幅器である。50 はロックインアンプである。71 はビームスプリッタ (光分離手段) であり、レーザー光 10 をパルス光 A とパルス光 B に分離するものである。パルス光 A とパルス光 B は相関性をもつものであり、コヒーレントな性質をもつ。26 は時間遅延ミラーである。27 は反射ミラーである。34 は Si ミラーである。

【0033】図 2 の電磁波検出装置の動作を説明する。レーザー光源 21 は極短パルスレーザー光 (波長 $800\ \text{nm}$, 時間の半値幅 $12\ \text{fs}$, 繰り返し周期 $75\ \text{MHz}$) を発生する。レーザー光源 21 で発生したレーザー光 10 はビームスプリッタ 71 でパルス光 A とパルス光 B に分離される。パルス光 A はチョッパ 23 でチョップされ、凹面反射ミラー 1 (31) に入射される。凹面反射ミラー 1 (31) で反射したパルス光 A は、エミッタ 40 を照

射する。エミッタ 40 はパルス光 A の照射を受けてテラヘルツ電磁波を発生する。エミッタ 40 で発生したテラヘルツ電磁波は凹面反射ミラー 2 (32) で反射し、Si ミラー 34 を透過し、さらに凹面反射ミラー 3 (33) で反射して、PC アンテナ 1 のダイポールアンテナ 3, 3' のギャップ部分に焦点があうように照射される。

【0034】一方、レーザー光 10 の一部はビームスプリッタ 71 で分離されてパルス光 B になる。パルス光 B は時間遅延ミラー 26 に入射されて反射し、反射ミラー 27, Si ミラー 34, 凹面反射ミラー 3 (33) で順次反射し、PC アンテナ 1 のダイポールアンテナ 3, 3' のギャップ部分に焦点を合せて照射する。

【0035】ギャップに照射されたパルス光 B (波長 $800\ \text{nm}$, 時間の半値幅 $15\ \text{fs}$, 繰り返し周期 $75\ \text{MHz}$) はゲート光として PC アンテナ 1 の高光伝導性の LT-GaAs 層にキャリアを励起する。そしてそのキャリアはギャップ部分を照射するテラヘルツ電磁波の電界により変調されて、伝送路 2, 2' に信号電流を生じる。

【0036】PC アンテナ 1 の光伝導層が LT-GaAs のようにキャリア寿命の短いものでも、検出対象の電磁波の周波数が高い場合 (例えば、 $10\ \text{THz}$ 以上) には、図 10 (b) に示す積分モードの信号電流が検出される。

【0037】図 2 の構成の動作は、PC アンテナ 1 に照射されるテラヘルツ電磁波を、PC アンテナに対してゲート光と同じ側から照射することを除いては図 9 の従来の電磁波検出装置と同じである。

【0038】図 3 はテラヘルツ電磁波の検出波形の例 1 である。図 3 は図 2 の本発明の実施の形態の装置構成 1 の電磁波検出装置と図 9 の従来の電磁波検出装置により測定したテラヘルツ電磁波の周波数スペクトルを比較したものである。

【0039】テラヘルツ電磁波は、InP (100) のエミッタから発生したテラヘルツ電磁波であり、その振幅の時間変化波形をフーリエ変換して得られた周波数スペクトルを示す。

【0040】図 3 (a) は、図 2 の本発明の同軸配置の電磁波検出装置により測定したものである。図 3 (b) は、従来の対向配置の電磁波検出装置により測定したものである (図 11 (b) に同じ)。本発明の装置および従来の装置も、数 THz から $25\ \text{THz}$ 程度までのテラヘルツ電磁波が検出されている。

【0041】しかし、図 3 (b) に円で囲んで示すように、図 9 の従来の対向配置の装置で検出した周波数スペクトルでは、 $7\sim 8\ \text{THz}$ 付近に PC アンテナの基板と光伝導層の吸収のために生じた大きい谷を生じている。本発明の電磁波検出装置では、図 3 (a) に示されるようにテラヘルツ電磁波が PC アンテナの表面で反射する

ことによる影響がわずかに生じるだけであり、PCアンテナの基板と光導電層での吸収の影響は取り除かれる。

【0042】また、従来の図9の対向配置の装置で検出した場合には、図3(b)に円で囲んで示すように17 THz付近にSiレンズにより生じたテラヘルツ電磁波の吸収を生じているが、図3(a)に示されるように本発明の同軸配置の検出装置では生じていない。

【0043】図4は本発明の実施の形態の装置構成2を示すものである。装置構成2は同軸配置のテラヘルツ電磁波の電磁波検出装置である。図4において、1はPCアンテナ(検出手段)である。21はレーザ光源(パルス光発生手段)であり、レーザ光10(波長800 nm, 時間半値幅12 fs, 繰り返し周期75 MHz)の極短パルスレーザ光を発生するものである。22はシェーカであって、振動ミラー29を光軸方向に振動させるものである。振動の振幅は検出対象の電磁波の波長よりも十分短い必要があり、例えば、数ミクロンである。例えば、振動周波数は650 Hzである。25はビームスプリッタ(光分離手段)であって、レーザ光10をパルス光Aとパルス光Bに分離するものである。26は時間遅延ミラーであって、PCアンテナ1に照射するレーザ光の光路長を変化させるものである。27、28は反射ミラーである。29は振動ミラーであって、650 Hzで光軸方向に振動しエミッタ40に照射するレーザ光を650 Hzで変調するものである。31は凹面反射ミラー1である。32は凹面反射ミラー2である。33は凹面反射ミラー3である。34はSiミラーであって、テラヘルツ電磁波は透過するが、レーザ光は反射させるものである。

【0044】40はエミッタ(電磁波発生手段)であり、レーザ光を照射されてテラヘルツ電磁波を発生するものである。エミッタ40の材料は、例えば、InP、ZnTeもしくはGaPである。

【0045】42は遅延ミラー駆動部であり、時間遅延ミラー26を光軸方向に移動させるものである。43はシェーカ駆動部であって、シェーカ22を光軸方向に振動させるものである。49は電流増幅器であって、ロックインアンプの前段増幅器である。50はロックインアンプである。

【0046】図4の同軸配置構成の動作を説明する。レーザ光源21で発生したレーザ光10はビームスプリッタ25でパルス光Aとパルス光Bに分離される。パルス光Aとパルス光Bは相関性があり、コヒーレントな性質をもつ。パルス光Aは反射ミラー28で反射し、振動ミラー29に入射する。パルス光Aはさらに振動ミラー29で反射し、凹面反射ミラー1(31)に入射される。凹面反射ミラー1(31)で反射したレーザ光10はエミッタ40を照射する。レーザ光を照射されたエミッタ40はテラヘルツ電磁波を発生する。エミッタ40に照射するパルス光Aは650 Hzで入射光の光軸の方向に

振動する振動ミラーにより650 Hzで変調される。従って、エミッタ40により発生する電磁波も650 Hzで変調されている。エミッタ40で発生したテラヘルツ電磁波は凹面反射ミラー2(32)で反射し、Siミラー34を透過して凹面反射ミラー3(33)に入射する。そして、エミッタ40で発生したテラヘルツ電磁波は、凹面反射ミラー3(33)でPCアンテナ1のギャップ部分に焦点をあわせるように反射して、PCアンテナ1のダイポールアンテナのギャップ部分を照射する。

【0047】一方、ビームスプリッタ25で分離されたパルス光Bは反射し時間遅延ミラー26に入射される。そして時間遅延ミラー26でさらに反射し、さらに反射ミラー27で反射して、Siミラー34に入射する。さらに、レーザ光10はSiミラー34で反射し、凹面反射ミラー3(33)に入射する。そして、凹面反射ミラー3(33)でPCアンテナ1のダイポールアンテナのギャップ部分に焦点を合わせるように反射してギャップ部分を照射する。

【0048】時間遅延ミラー駆動部42は、時間遅延ミラー26を右に向かってゆっくり移動させる。時間遅延ミラーの移動によりロックインアンプ出力の時間掃引信号を生成することは図2の構成と同様である。

【0049】シェーカ駆動部43はシェーカ22を650 Hzの振動数で振動させる。そのため、振動ミラー29は650 Hzで光軸方向に振動し、エミッタ40に照射するレーザ光を650 Hzで変調する。そのため、エミッタ40から発生するテラヘルツ電磁波は650 Hzで変調され、ロックインアンプ50の参照信号周波数を650 Hzとすることによりロックインアンプ50で650 Hzで変調されている微小なテラヘルツ電磁波を検出することができる。

【0050】図4の構成で、PCアンテナ1のダイポールアンテナのギャップ部分を照射する極短パルスレーザ光(波長800 nm, ギャップ部分の時間半値幅15 fs, 繰り返し周期75 MHz)であるパルス光Bをゲート光として光伝導層4にキャリアが発生する。そのキャリアは、ギャップ部分を照射するテラヘルツ電磁波の電界により変調され、伝送路2、2'にテラヘルツ電磁波で変調された電流を生じる。時間掃引信号は、例えば、ロックインアンプの時定数を1秒とすると、ある時刻で時間遅延ミラー26を少なくとも3秒間固定し、ロックインアンプ50の信号出力を記録する。次に3秒以上経過した時点で、時間遅延ミラー26を光軸方向に光路差を大きくするように移動させる。例えば、1 μm程度移動させる。この繰り返しにより時間掃引した信号電流波形をロックインアンプ50から取り出す。エミッタ40で発生したテラヘルツ電磁波はシェーカによって変調された結果、ロックインアンプ50の出力は積分モード信号電流を時間微分したものである。PCアンテナで生じる信号電流は積分モードなので、ロックインアンプ5

0の出力はテラヘルツ電磁波の正確な時間変化波形を表す。

【0051】図5は本発明の実施の形態のシステム構成を示す。図5において、図4と共通部分は共通参照番号で示される。51は信号処理部であって、ロックインアンプ50の出力信号を信号処理するものである。52は出力部であり、信号処理部51で信号処理される信号波形を表示出力するものである。53は出力制御部であり、時間遅延ミラー駆動部42からの駆動信号をもとに、信号処理部51および出力部52を制御するものである。信号処理部51、出力部52および出力制御部53は同一のコンピュータで構成される。信号処理部51と出力部52の動作をコンピュータにより指示するものである。

【0052】信号処理部51において、62は時間変化波形保持部であって、ロックインアンプ50から出力される時間変化波形データを保持するものである。63はフーリエ変換部であって、ロックインアンプ50の出力する時間変化波形のデータをフーリエ変換し、周波数スペクトルを求めるものである。

【0053】図5の構成において、PCアンテナ1の伝送路から送られてくる信号は、電流増幅器49で前段増幅された後、ロックインアンプ50に入力される。ロックインアンプ50は、シェーカ駆動部43の振動駆動周波数である650Hzを参照信号周波数として、PCアンテナ1で発生した微小なテラヘルツ電磁波の信号を検出する。ロックインアンプ50の出力は時間変化波形保持部62に保持される。図4の構成の場合、ロックインアンプ50の出力する信号は積分モードの信号電流を時間微分したものであるため、積分モードで検出されたテラヘルツ電磁波の正確な時間変化波形を表している。フーリエ変換部63は時間変化波形の波形データをフーリエ変換し、フーリエ変換データ保持部にフーリエ変換結果を保持する。フーリエ変換結果は測定した電磁波の周波数スペクトルを表す。

【0054】図5の構成における出力制御部53および信号処理部51の動作は次のようなものである。

【0055】出力制御部53は時間遅延ミラー駆動部42の時間遅延を制御し、その制御に合わせて出力部52の出力を制御する。ある時刻において、出力制御部53は時間遅延ミラー駆動部42に指示して、時間遅延ミラーの位置を固定する。ロックインアンプ50はPCアンテナ1の出力信号を検出し、信号処理部51に出力する。ロックインアンプの時定数により定まった時間（例えば3秒）の後、信号処理部51において、時間変化波形保持部62はロックインアンプ50の出力信号を保持する。

【0056】その後、出力制御部53に制御されて時間遅延ミラー駆動部42は時間遅延ミラー26を駆動する。時間遅延ミラー26（図1（c）参照）の移動で生

じた光路差に対応する遅延時間でのテラヘルツ電磁波の振幅がロックインアンプ50から出力されるので、時間変化波形保持部62はロックインアンプ50の信号データを保持する。この動作を繰り返し、ロックインアンプ50によりテラヘルツ電磁波の時間変化波形が測定され、時間変化波形保持部62に保持される。

【0057】図6は図4の本発明の実施の形態の装置構成2の電磁波検出装置により測定したテラヘルツ電磁波の例を示す。図6は、エミッタとして厚さ300μmのGaP（110）を使用し、入射角30°で入射した場合に発生したテラヘルツ電磁波を検出したものであり、極短パルスレーザ光（波長800nm、ギャップ部分の時間半値幅15fs、繰り返し周期75MHz）の1パルスにより生成したテラヘルツ電磁波の波形である。図6（a）はテラヘルツ電磁波の振幅の時間変化波形である。図6（b）は図6（a）の振幅の時間変化波形をフーリエ変換したものである。

【0058】図6（a）に示されるように、時刻0.24psでテラヘルツ電磁波が発生し、その時点での周期は約23fsである。図6（b）の周波数スペクトルから分かるように、本発明の装置により数テラヘルツから60テラヘルツ程度までのテラヘルツ電磁波の周波数スペクトルが検出されている。

【0059】図7は図4の本発明の実施の形態の装置構成2の電磁波検出装置により検出されたテラヘルツ電磁波の例を示す。図7は、エミッタとして厚さ100μmのZnTe（110）を使用し、入射角45°で入射した場合に発生したテラヘルツ電磁波を検出したものである。図7（a）はテラヘルツ電磁波の時間変化波形である。図7（b）は図7（a）の振幅の時間変化波形をフーリエ変換したものである。

【0060】図7（a）に示されるように、時刻0.6psでテラヘルツ電磁波が発生し、その時点での時間幅は約14fsである。図7（b）の周波数スペクトルから分かるように、本発明の装置により数テラヘルツから70テラヘルツ程度までのテラヘルツ電磁波の周波数スペクトルが検出されている。

【0061】

【発明の効果】本発明によれば、PCアンテナでテラヘルツ電磁波が吸収されることがないので、検出対象のテラヘルツ電磁波の周波数スペクトル、振幅の時間変化波形等をより正確に測定できる。特に、15fs程度のパルスレーザを用いたことで、PCアンテナでは測定不可能とされていた10THz以上の電磁波の時間分解波形をアンテナ吸収の影響を排して測定できる。そのため、テラヘルツ電磁波分光等に応用した場合に、より正しい測定結果を得ることができるようになる。また、PCアンテナにSiレンズを必要としないので、PCアンテナの保持手段に対する制約がない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態を示す図である。

【図2】本発明の実施の形態の装置構成1を示す図である。

【図3】本発明のテラヘルツ電磁波の検出波形の例1を示す図である。

【図4】本発明の実施の形態の装置構成2を示す図である。

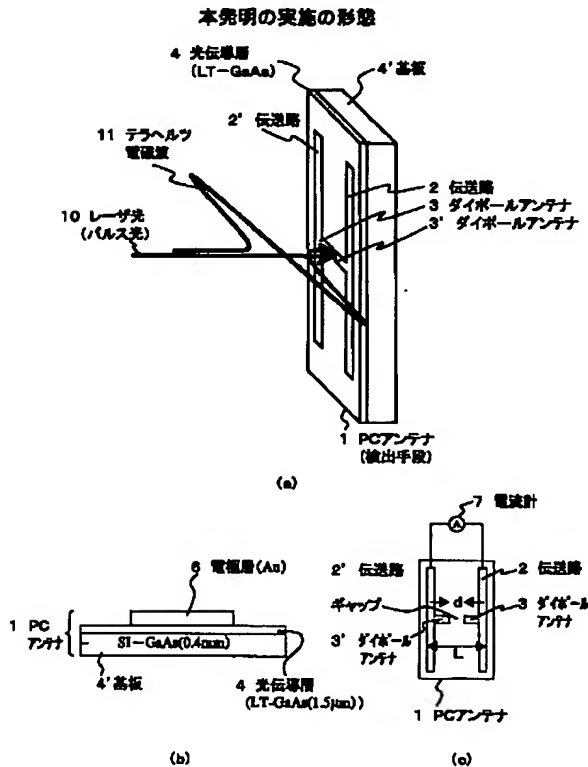
【図5】本発明の実施の形態のシステム構成を示す図である。

【図6】テラヘルツ電磁波の検出波形の例2を示す図である。

【図7】テラヘルツ電磁波の検出波形の例3を示す図である。

【図8】PCアンテナによるテラヘルツ電磁波の発生方式

【図1】



* 法と検出方法の説明図である。

【図9】従来の電磁波検出装置の構成を示す図である。

【図10】テラヘルツ電磁波の検出方法の説明図である。

【図11】従来の電磁波検出装置による検出波形の例を示す図である。

【符号の説明】

1: PCアンテナ (検出手段)

10: レーザ光 (パルス光)

11: テラヘルツ電磁波

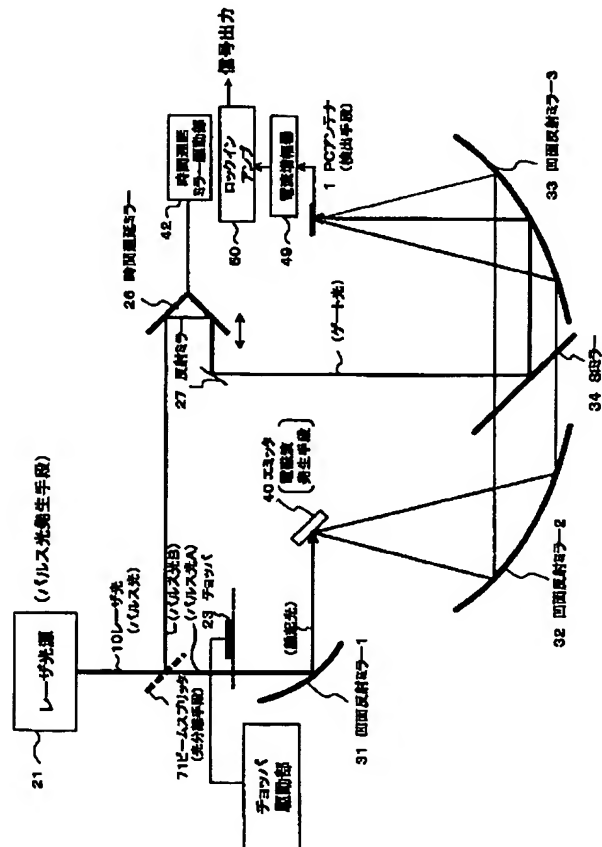
21: レーザ光源 (パルス光発生手段)

40: エミッタ (電磁波発生手段)

71: ビームスプリッタ (光分離手段)

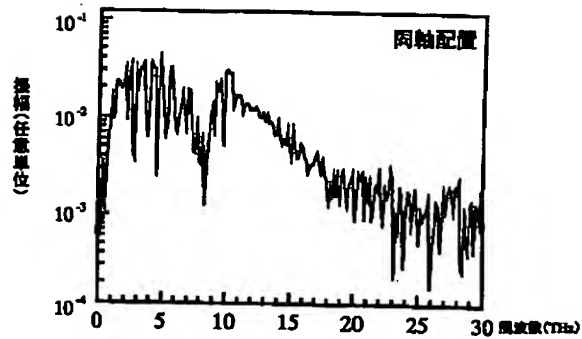
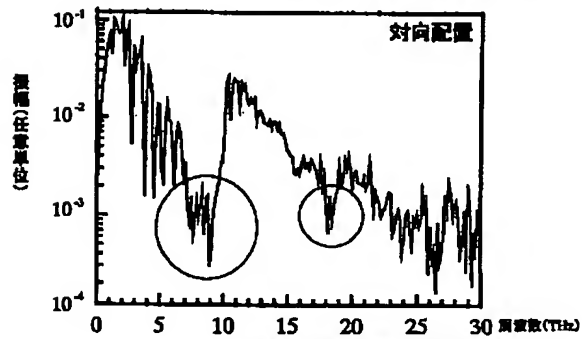
【図2】

本発明の実施の形態の装置構成1
(同軸配置)

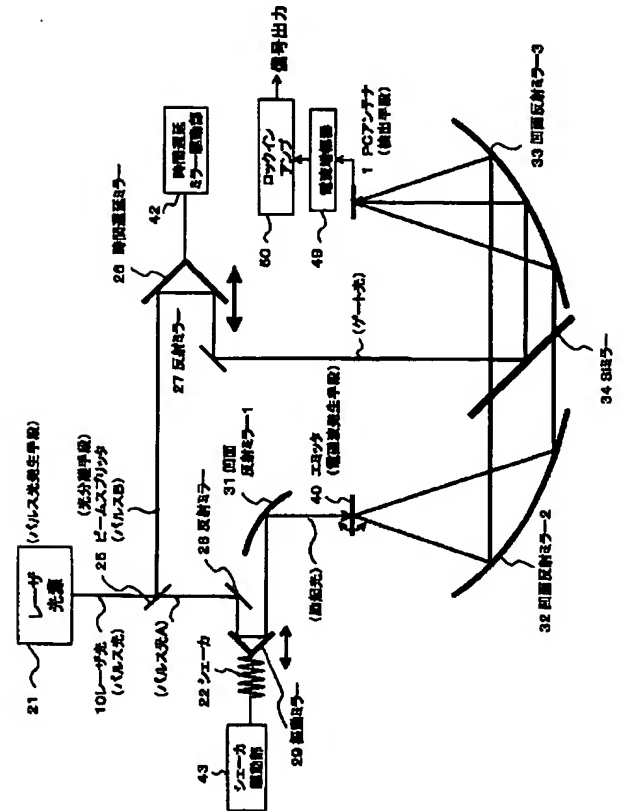


【図3】

テラヘルツ電磁波の検出波形の例1

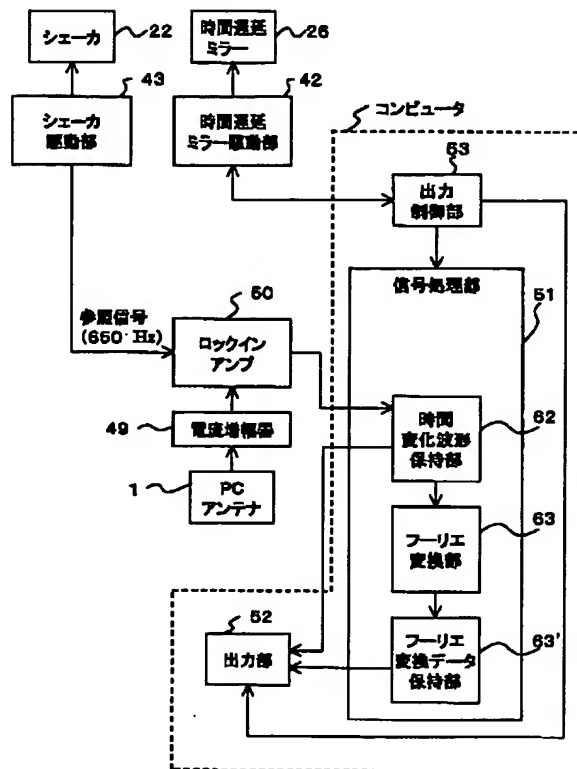
(a) 本発明の装置により検出された
テラヘルツ電磁波の周波数スペクトル(b) 従来の装置により検出された
テラヘルツ電磁波の周波数スペクトル

【図4】

本発明の実施の形態の装置構成2
(同軸配置)

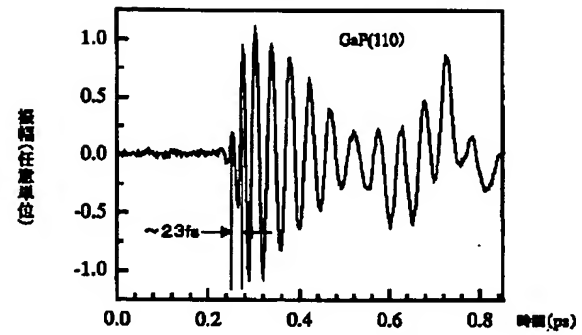
【図5】

本発明の実施の形態のシステム構成

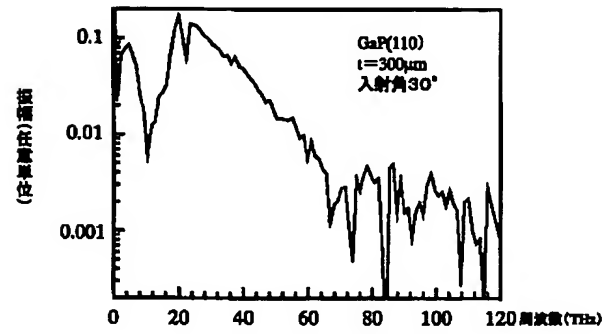


【図6】

テラヘルツ電磁波の検出波形の例2

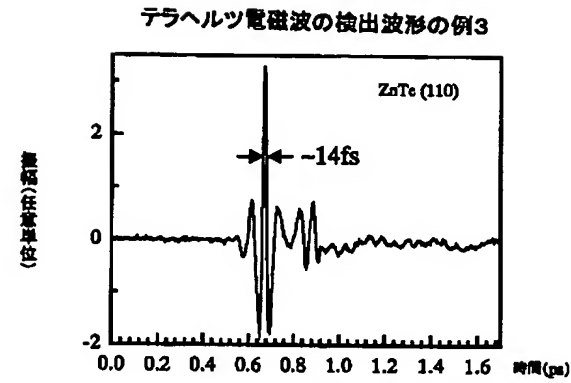


(a) テラヘルツ電磁波の振幅の時間変化波形

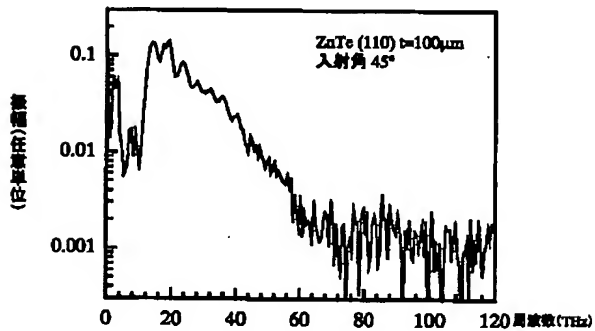


(b) テラヘルツ電磁波の周波数スペクトル

【図7】



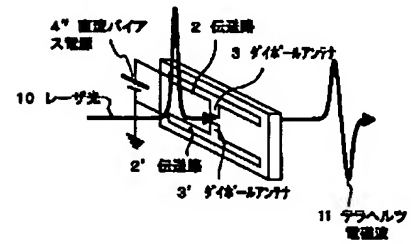
(a)テラヘルツ電磁波の振幅の時間変化波形



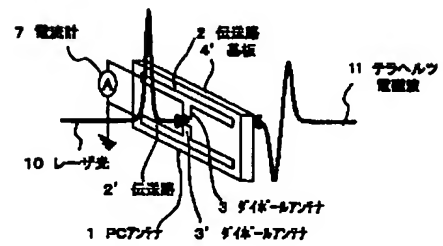
(b)テラヘルツ電磁波の周波数スペクトル

【図8】

PCアンテナによるテラヘルツ電磁波の発生方法と検出方法の説明図

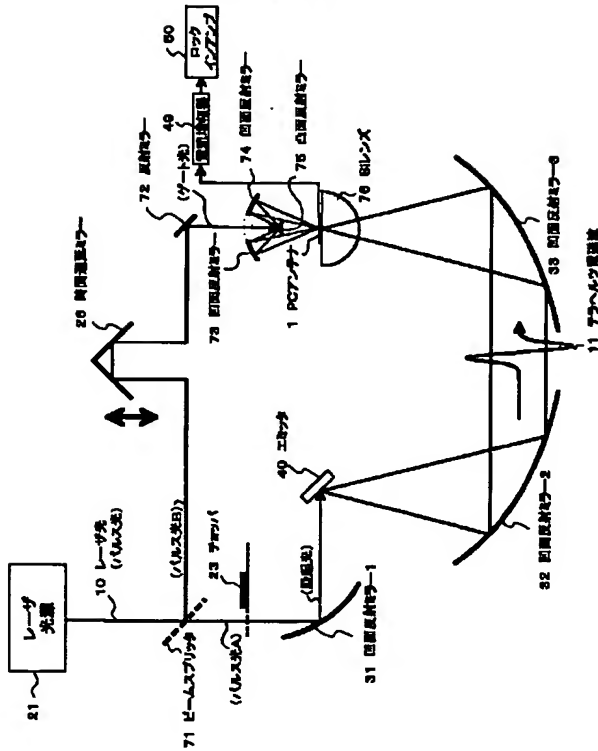


(a)



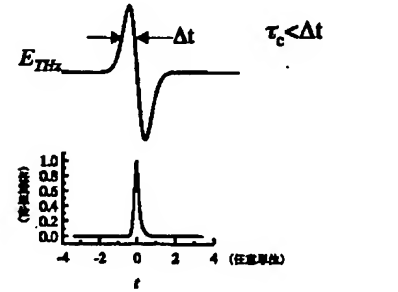
(b)

【図9】

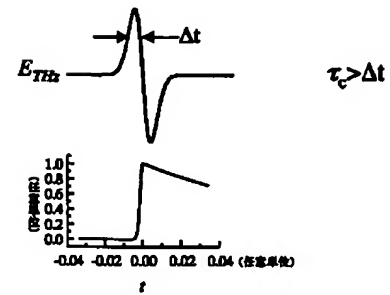
従来の電磁波検出装置の構成
(対向配置)

【図10】

テラヘルツ電磁波の検出方法の説明図



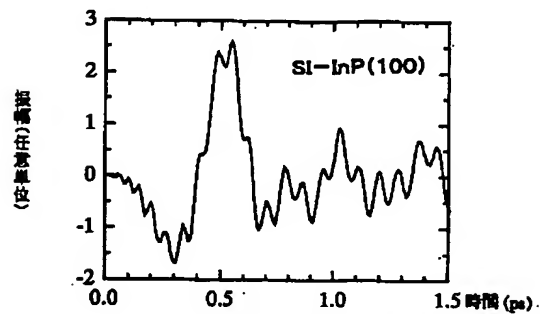
(a) サンプルモード



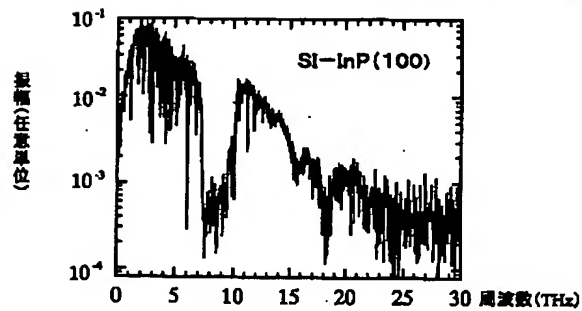
(b) 積分モード

【図11】

従来の電磁波検出装置による検出波形の例



(a)テラヘルツ電磁波の振幅の時間変化波形



(b)テラヘルツ電磁波の周波数スペクトル

フロントページの続き

(72)発明者 阪井 清美

兵庫県神戸市西区岩岡町岩岡588-2 総
務省通信総合研究所 関西先端研究センタ
ー内

Fターム(参考) 2G020 AA03 CA14 CB23 CB42 CC22

CD04 CD24 CD35

2G059 AA05 EE12 FF04 GG01 GG08

HH01 HH06 JJ11 JJ14 JJ22

JJ24 LL02 MM01 MM08

2G065 AA12 AB02 AB09 AB14 BA02

BA14 BB14 BB37 BC04 BC13

BC15 BC22 DA08